

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700271

研究課題名(和文) 視野闘争中の脳活動から視覚認知の時間変化を読み解く

研究課題名(英文) Investigation of the temporal dynamics of visual perception by brain responses under binocular rivalry

研究代表者

篠崎 隆志(Shinozaki, Takashi)

独立行政法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳機能計測研究室・研究員

研究者番号：10442972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：目で見た情報が脳の中で認知されるメカニズムの解明のために、視野闘争と呼ばれる現象下での脳反応についての研究を行った。従来の脳反応計測は数十回以上の繰り返しの計測が必要とされるが、位相テンプレート解析と呼ばれる新しい手法を開発することによって、時間的にランダムな脳反応を示す視野闘争に対する脳反応を計測することに成功し、その時間変化を明らかにした。さらにこの手法をブレインマシンインターフェースに应用することで、脳波によって2足歩行ロボットを無線操作するシステムを実現した。

研究成果の概要(英文)：We studied brain responses under binocular rivalry to clarify the temporal dynamics of visual perception. Binocular rivalry is a visual phenomena which causes temporally random perceptual alternation by presenting two different images to each eye. Since recording of brain responses usually requires several tens of iterations, and is not suitable to record such a temporally random responses, we developed a new method called 'phase template analysis'. The new method enabled a one-shot recording of the brain responses under binocular rivalry, and clarified the temporal process of the visual perception. The method also applied to develop a brain machine interface (BMI), resulting a biped robot controlled by brain responses recording with electroencephalogram (EEG).

研究分野：非侵襲脳機能計測

キーワード：認知科学 非侵襲脳機能計測 脳科学 ブレインマシンインターフェース MEG EEG

1. 研究開始当初の背景

視覚の認知が成立するためには外界のあいまいな映像情報から特定の認知を成立させる必要がある。しかしながら、映像に含まれる複数のあいまい情報がどのように統合、解決されて認知に至るのかは十分に明らかにされていない。本研究では視野闘争と呼ばれる現象における認知の切り替わり状態に注目して、その遷移状態での脳活動を脳磁計測装置で計測する。脳活動の位相情報を用いた高い時間分解能の解析によって、視覚認知の時間変化を脳活動の面から明らかにし、脳における認知の統合、解決メカニズムの解明を目指した。

2. 研究の目的

本研究では視覚認知の時間過程を明らかにするため、視野闘争と呼ばれる左右眼で異なる画像を提示したときに認知がランダムな交代する現象に着目し、非侵襲脳機能計測によって対応する知覚の時間変化を明らかにし、視覚認知の統合、解決のメカニズムの解明を目指した。研究の遂行に当たっては既存の解析法では十分に実現されていない、脳波・脳磁計測の単一試行での解析が必要とされるため、このために必要な解析手法の開発についても目的とした。さらに開発した解析手法を社会還元するために、これを利用したブレインマシンインターフェースの開発も目指した。

3. 研究の方法

視野闘争下での脳反応の解析には定常的視覚誘発脳反応(Steady State Visual Evoked Potential/Field: SSVEP/SSVEF)を用いた周波数タグ付けと呼ばれる手法が主に用いられているが、この手法では検出の為に秒のオーダーの時間を要し、単一試行で認知の遷移過程を見るためには十分ではなかった。本研究では脳反応の位相情報に着目し、これを効率的に利用することによって、単一試行において高い時間精度での SSVEF の検出を試みた。位相情報の検出には Phase Locking Index (PLI) を元にした評価法を用いた (Tallon-Baudry *et al.*, 1996; Schack & Klimesch, 2002)。単一試行での検出実験に先行して、単純な点滅映像を提示した場合の脳活動をあらかじめ計測しておき、得られた信号の試行間 PLI の複素成分全体を位相テンプレートとして利用した。検出には、テンプレートと単一試行の位相成分とのマッチングによって行った。先行研究から SSVEP/SSVEF によって生じる周波数成分の位相は全頭に渡って計測されることが報告されている (Kamphuisen *et al.*, 2008)。そこで本研究では空間的に広がった位相情報を空間位相フィルタによって効率的に統合する解析法についても検討した。

次に複合的な視野闘争状態である運動方向の視野闘争において SSVEP/SSVEF を効率よ

く発生させるための画像の設計を行った。画像の提示には脳磁計測下でも使用可能なように非磁性体を用いて専用に開発したステレオスコープを用いた。画像の形態としては、点滅する縞模様や、点滅するランダムドット、点滅するドットノイズを重畳した縞模様などを用いた運動方向の表現が考えられるが、SSVEF の実験結果や先行研究における知見をもとにしつつ、予備実験としての脳磁計測の結果を合わせることによって最適な画像のデザインを決定した。最後に上記2つを融合させることによって、運動方向の視野闘争の遷移過程における脳活動高い時間精度で明らかにすることを試みた。

4. 研究成果

(1) 位相テンプレートマッチング法

視野闘争状態の認知は時間的にランダムに変化するため、数十回の繰り返しが必要とされる従来の脳反応計測の手法はそのままでは適用できない。そこで脳反応計測の単一の試行を解析可能な手法として、定常的視覚誘発脳活動の位相テンプレートマッチング法を開発した。定常的視覚誘発脳活動(SSVEP/SSVEF)とは特定の周波数で点滅する視覚刺激を提示することによって誘発される周期的な変化を持つ脳活動である。SSVEP/SSVEF は視野闘争など多義図形に対する知覚や、注意の状態を特定するための手掛かりとして知覚研究に広く用いられている。従来の SSVEP/SSVEF の解析手法は主に周波数成分の強度を用いて解析が行われていたが、特に単一試行の解析においてアルファ波などの非同期の自発活動の影響を受けやすいという問題点があった。そこで本研究では SSVEP/SSVEF の位相情報に着目し、単一試行における検出力に優れた解析法を

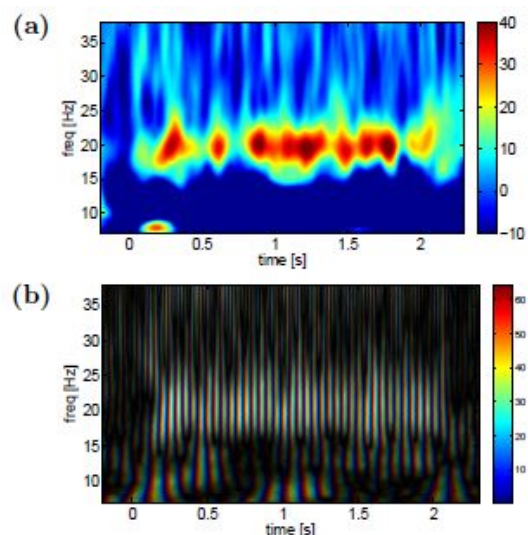


図1: (a)20Hzの点滅刺激に対する典型的な被験者における SSVEF の連続ウェーブレット変換の結果。(b)対応する位相テンプレート。

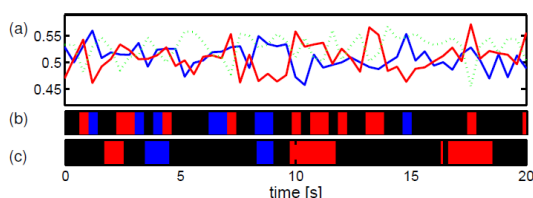


図 2: 位相テンプレート解析によって明らかとなった視野闘争刺激提示下での知覚の時間変化。(a)左右眼のそれぞれに提示された刺激に対応する位相テンプレートのマッチング値の時間変化。(b)結果として判定された認知の状態の時間変化、赤と青が左右眼に提示されたそれぞれの視覚刺激に対応する認知、黒い部分は中間的な認知状態を表す。(c)脳磁計測と同時に行ったボタン押しによる知覚状態の結果。位相テンプレートマッチング法の値とよく対応している。

開発した。開発した解析法は PLI の特性を用いることにより信頼度が 高い時間区間における位相情報を自動的に抽出する。これによって被験者ごとに最適な位相テンプレートを生成し、単一試行レベルでの SSVEP/SSVEF の効率的な検出が可能となった。さらに同一周波数で位相のみが異なる刺激を識別可能であることから、多コマンドの BMI への応用が期待されるとともに、均一な視覚的条件下での周波数タグ付けが可能となった。

(2) 視野闘争状態下での知覚の検出

(1)で開発した位相テンプレートマッチング法を用いることによって、視野闘争下における知覚の時間変化を明らかにするために脳磁計測を行った。20Hz で点滅する視野闘争を生じさせる視覚刺激を位相タグ付けし、認知に対応する脳反応を単一試行レベルで解析した。認知の検出に用いる位相テンプレートは、あらかじめ行った点滅するチェッカーボードに対する脳反応から作成し、視野闘争下の脳反応の位相が 2 つの認知に対応するテンプレートのどちらによりマッチするかによって認知の判定を行った。脳磁計測器の多チャンネルを活かす新規に開発した空間位相補正法を適用することによって、複数のチャンネルからの情報を統合し、高い精度で認知の時間変化を明らかにした(図 2)。

(3) ブレインマシンインターフェース応用

開発した解析法を用いることによって BMI による二足歩行ロボットの無線操作システムを構築(図 3)、その検証を行った。BMI システムには脳波を用い、SSVEP を発生させる視覚刺激の生成には MATLAB (Mathworks 社製)で動作する Psychtoolbox-3 を用いた。脳波計測についても MATLAB に集約し、独自製作の MATLAB インターフェースプログラムによって刺激提示から脳波計測、デコーディングおよびフィードバックまでを一貫してコ

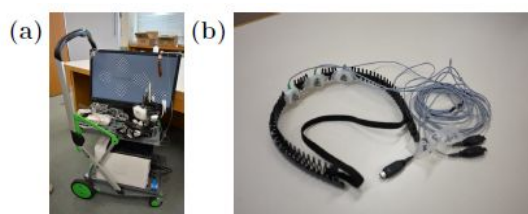


図 3: (a) 二足歩行ロボットを無線操作するための可搬な BMI システム。(b) 簡易な計測を可能とするドライ電極を備えたカチューシャ型固定具。

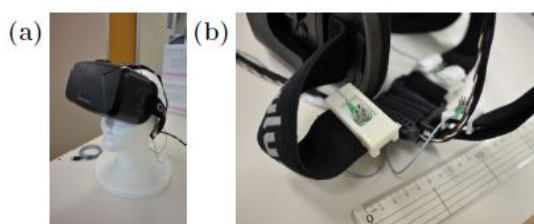


図 4: (a) HMD を用いた没入型 BMI システム。(b) HMD のバンドに固定された専用ブラケットとドライ電極。

ントロールした。刺激画像の提示には液晶ディスプレイ FORIS FS2333(EIZO 社製)を用い、画面左上隅に設置されたフォトランジスタによって同期トリガー信号を検出した。脳波計には Polymate 1132(TEAC 社製)を用い、カチューシャ型固定具に配置(01,02,0z それぞれの近傍)された 3 つのドライ電極(ユニクメディカル社製)によって視覚野で生じる脳反応を計測した(図 3(b))。システムはコントロール用 PC、およびにディスプレイ、脳波計を含めすべてポータブル蓄電池 EnergyStation(日立マクセル社製)によって駆動され、これによって AC 入力のない場所での測定も可能な可搬なシステムを実現した。二足歩行ロボットには近藤科学社製 KHR-3HV を用い、コントローラ PC とは Ad-Hoc の無線 LAN によって接続され、独自製作の MATLAB インターフェースプログラムによって操作された。本システムを用いたロボットは 2014 年 7 月開催の姫路市立姫路科学館主催の姫路ロボチャレンジのエントリークラスに出場し、その有効性を実証した。

構築した BMI システムは台車によって可搬な形態であったが、SSVEP による BMI の制約から大型のディスプレイを必要とし、またディスプレイを駆動するための大型のバッテリーも必要なことが小型化の妨げとなっていた。そこでさらなる小型化のためにディスプレイにヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display: HMD)を採用し、さらに脳波計についてもより小型化した BMI システムを開発した(図 4(a))。HMD には Oculus Rift DK2(Oculus VR 社製)を用い、脳波計には Polymate Mini AP108(ミユキ技研)を用いた。同期トリガー信号の検出のために HMD の左眼左上隅の視野外に対応する有機 EL 上にフォトランジスタを埋め込み、これによってト

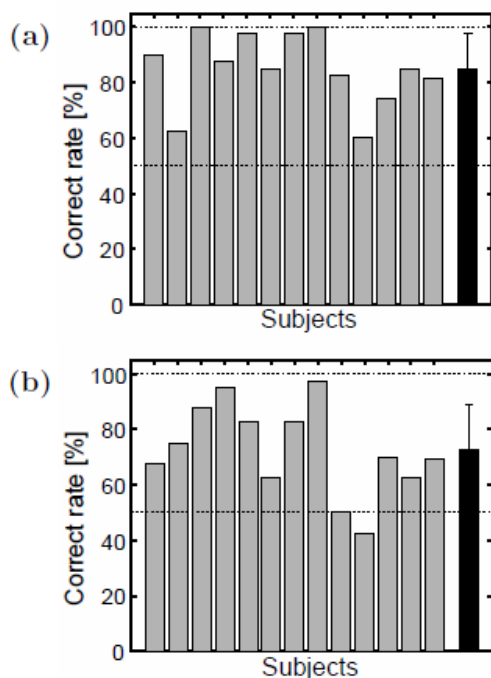


図 5: 没入型 BMI システムによる 2 択識別課題結果。中央の水平な点線はチャンスレベルの 50%。(a) 位相タグ付けおよび (b) 従来法である周波数タグ付けでの各被験者ごとの 2 択識別の結果。右端の黒いバーは全被験者の平均。

リガー信号による視覚刺激への影響を抑えた。脳波は HMD のバンド上 (O1, O2, Pz それぞれの近傍) に専用ブラケットによって固定された 3 つのドライ電極 (ユニークメディカル社製) によって計測された (図 4(b))。SSVEP による BMI における 2 択識別課題を用いた検証実験の結果 (図 5) から、その有用性が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- 篠崎隆志・横田悠右・成瀬康: SSVEP の位相テンプレートマッチング解析を用いた可搬な BMI システムの構築。信学技報, NC2014-105, 211-216. 2015 年。(査読無)
 篠崎隆志・成瀬康・梅原広明: 位相テンプレートを用いた定常的視覚誘発脳活動の解析手法。日本生体磁気学会誌, 25:1, 172-173. 2012 年。(査読無)

〔学会発表〕(計 6 件)

- 篠崎隆志・横田悠右・成瀬康: SSVEP の位相テンプレートマッチング解析を用いた可搬な BMI システムの構築。ニューロコンピューティング研究会。2015 年 3 月 17 日。玉川大学 (東京都町田市)。
 T. Shinozaki, Y. Naruse: Phase tagging for single trial MEG responses under binocular rivalry. The 10th Asia-Pacific Conference on Vision

- (APCV 2014). Jul 21, 2014. Kagawa International Hall (香川県高松市)。
 T. Shinozaki, Y. Naruse, H. Umehara: Concatenated phase template for analyzing steady-state visual-evoked responses. Annual meeting of the Society of Neuroscience. Oct 15, 2012. New Orleans (USA)。
 篠崎隆志・成瀬康・梅原広明: 合成位相テンプレートによる持続性および位相変移した定常的視覚誘発能活動の検出。第 35 回日本神経科学大会。2012 年 9 月 18 日。名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)。
 T. Shinozaki, Y. Naruse, H. Umehara: Phase template analysis for decoding steady-state visual-evoked responses. International Conference on Biomagnetism (BIOMAG 2012), Aug 29, 2012. Paris (France)。
 篠崎隆志・成瀬康・梅原広明: 位相テンプレートを用いた定常的視覚誘発脳活動の解析手法。第 27 回生体磁気学会大会。2012 年 5 月 31 日。東京電機大学 (東京都足立区)。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

兵庫県姫路市立姫路科学館主催 姫路口ポチャレンジ 2014 年夏の陣出場

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠崎 隆志 (TAKASHI SHINOZAKI)
 独立行政法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳機能計測研究室・研究員
 研究者番号: 10442972